

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: PROFESOR FIZIKE I KEMIJE

Dora Krovina

Diplomski rad

**Demonstracijski pokusi u nastavi
fizike: mehanika fluida**

Zagreb, 2016.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
PRIRODOSLOVNO – MATEMATIČKI FAKULTET
FIZIČKI ODSJEK

SMJER: PROFESOR FIZIKE I KEMIJE

Dora Krovina

Diplomski rad

**Demonstracijski pokusi u nastavi fizike:
mahanika fluida**

Voditelj diplomskog rada: Doc. dr. sc. Dalibor Paar

Ocjena diplomskog rada: _____

Povjerenstvo: 1. _____
 2. _____
 3. _____
 4. _____

Zagreb, 2016

Zahvaljujem svom mentoru doc.dr.sc Daliboru Paaruu na ukazanom povjerenju, strpljenju, savjetima i velikoj pomoći prilikom izrade diplomskog rada.

Veliko hvala Davoru Čapeti i Hrvoju Mesiću na pomoći oko izvedbe nekoliko eksperimenata.

Također, zahvaljujem se svim svojim prijateljima koji su mi činili studentske dane ljepšim i zabavnijim.

Posebno hvala mojim roditeljima i braći Lovri i Bruni na beskrajnoj podršci tijekom studiranja, ovo nije moje postignuće, nego naše jer bez vas ionako ne bi bila tu gdje jesam. Moji roditelji i brat Bruno zaslužuju posebnu zahvalu za sudjelovanje i pomoći prilikom izvedbe i slikanja eksperimenata izvedenih kod kuće.

Sažetak

Da bi se projektna nastava uvela u hrvatske škole, potrebno je sustavno i kontinuirano educirati nastavnike. Ovaj diplomski rad predstavlja doprinos u tom smjeru. Prirodne znanosti, odnosno fizika temeljene su na pokusu, odnosno promatranju prirodnih pojava. Izbor odgovarajućeg seta demonstracijskih pokusa može biti okosnica projektne nastave kroz koju se učenici upoznaju s određenim područjem fizike, u ovom radu s mehanikom fluida. Dobro odabrani pokusi, čiji ishodi često nisu u skladu s intuicijom učenika, mogu biti izvrsna motivacija za izvedbu projektnog zadatka. Uz to, ono što se ovim radom želi istaknuti je da za takav oblik nastave nije potrebna skupa oprema. Uz izvrsno educiranog nastavnika i zanimljivo definiranu temu projekta, troškovi opreme potrebne za izvedbu ovakvog oblika nastave ne moraju odstupati od cijene izvedbe klasične nastave.

Sadržaj

1. Uvod	6
2. Projektna nastava	7
2.1 O projektnoj nastavi	7
2.2 Organizacija projektne nastave	8
3. Mehanika fluida	11
3.1. Osnovna svojstva fluida	11
3.2 Statika fluida	14
3.3 Dinamika fluida	17
4. Demonstracijski pokusi iz mehanike fluida	21
4.1 Osnovna svojstva fluida	22
4.2 Statika fluida	28
4.3 Dinamika fluida	44
5. Zaključak	53
6. Literatura	54

1. UVOD

Pokusi su vrlo važni u nastavi fizike, ne zato što je fizika temeljena na pokusima, već i zato što su pokusi odličan motivacijski faktor koji može pobuditi interes učenika za fiziku, njihovo aktivno sudjelovanje u nastavi i donošenje zaključaka na temelju vlastitih iskustava. Prednost pokusa je da nastavnik na kreativan i zanimljiv način učenike može uvesti u zadanu tematiku pri čemu može osim klasične nastave koristiti i novije metode poučavanja kao što je to projektna nastava. Neki aspekti projektne nastave, kojoj pokus može biti središnji alat, dani su u drugom poglavlju. U trećem poglavlju istaknuti su fizikalni koncepti mehanike fluida potrebni za razumijevanje prezentiranih pokusa.

U četvrtom poglavlju dan je prikaz odabranih pokusa iz mehanike fluida. Pri tome je stavljen naglasak na pokuse s jednostavno dostupnim materijalima potrebnim za pokus, tako da ne samo da se jednostavno mogu izvesti u okviru nastave, već ih učenici sami mogu izvesti i kod kuće. Dan je detaljan opis pokusa s potrebnim priborom, uputom za izvođenje te pitanjima ili zadacima koje bi se uz njih postavilo učenicima.

2. PROJEKTNASTAVA U ŠKOLI

2.1 O projektnoj nastavi

Kada bi najkraće definirali što je pogrešno u aktualnom hrvatskom školstvu, to bi bile dvije činjenice: učenici ne stječu u dovoljnoj mjeri trajna i praktična znanja. U reformi školstva, jedan od ključnih alata kojim bi se trebali napasti navedeni nedostaci je projektna nastava. Projektna bi nastava po uzoru na zemlje s najnaprednijim obrazovnim sustavima u svijetu, trebala postati jedna od središnjih metoda poučavanja. Projektna nastava, čiji počeci datiraju iz 20. stoljeća, predstavlja širi koncept koji se znatno razlikuje od klasičnih metoda učenja. To je metoda učenja u kojoj učenici aktivno istražuju i uče, ali istodobno primjenjuju prije stečeno znanje, što predstavlja odličan okvir za učenje s razumijevanjem. Pojedini projekt, odnosno tema se istražuje i obrađuje u mnogim smjerovima, stječu se nova znanja, ali i utvrđuju prethodno stečena. Rad učenika u projektnoj nastavi zasniva se na interesima i sposobnostima učenika. Učenici samostalno planiraju rad, stvaraju ideje, dogovaraju se i rješavaju problem. Učenici slobodno govore, sami odlučuju o tijeku rada i sudjeluju i u vrednovanju rada. Uloga nastavnika u projektnoj nastavi je puno značajnija i kompleksnija nego kod klasičnog oblika nastave. Nastavnik treba biti kreativan u odabiru tema, poticati učenike na izražavanje, odmjereno pomagati učenicima u samoj realizaciji projekta, jačati im samopouzdanje, postavljati im realne zahtjeve i zadatke i na kraju zajedno s učenicima vrednovati rezultate projekta. Vrijeme provedbe projekta/rada ovisi o ciljevima koji se namjeravaju postići, a može trajati od jednog dana do nekoliko mjeseci. Značajan aspekt projektne nastave je pobuđivanje interesa učenika uz odabir zanimljivih tema, postavljanje izazova učeniku i poticanja njegove kreativnosti.

Da bi se projektna nastava uvela u hrvatske škole, potrebno je sustavno i kontinuirano educirati nastavnike. Ovaj diplomski rad predstavlja doprinos u tom smjeru. Prirodne znanosti, odnosno fizika temeljene su na pokusu, odnosno promatranju prirodnih pojava. Izbor odgovarajućeg seta demonstracijskih pokusa može biti okosnica projektne nastave kroz koju se učenici upoznaju s određenim područjem fizike. Dobro odabrani pokusi, čiji ishodi često nisu u skladu s intuicijom učenika, mogu biti izvrsna motivacija za izvedbu projektne zadatka. Uz to, ono što se ovim radom želi istaknuti je da za takav oblik nastave nije potrebna skupa oprema. Uz izvrsno educiranog nastavnika i zanimljivo definiranu temu projekta, troškovi opreme potrebne za izvedbu ovakvog oblika nastave ne moraju odstupati od cijene izvedbe klasične nastave.

PREDNOSTI PROJEKTNE NASTAVE:

- Svi učenici aktivno sudjeluju u ostvarivanju projekta.
- Kvalitetnija veza učenik- učenik, učenik- nastavnik.
- Veća je motivacija učenika za rad i učenje.
- Učenici tijekom rada razvijaju komunikacijske i organizacijske sposobnosti.
- Učenici su potaknuti na razmišljanje.
- Usvojeno znanje i metode su dugotrajne.

CILJEVI PROJEKTNE NASTAVE:

- Osamostaliti učenike u učenju.
- Razviti razmišljanje kod učenika.
- Stvaralački ih probuditi.
- Razviti dobru suradnju u grupnom radu s ostalim učenicima.
- Osposobiti ih za samostalno procjenjivanje postignutog.

2.2 Organizacija projektne nastave

Organizaciju projektne nastave možemo podijeliti u 6 točaka koje nastavnik treba razraditi u okviru pripreme za nastavu.



1. Odabir teme projekta

Izbor teme projekta ključan je za izvedbu projektne nastave. Okviri teme mogu biti određeni nastavnim planom i programom, dok detalji mogu biti rezultat kreativnog rada nastavnika uz prilagodbu razini znanja učenika. Tema mora biti pažljivo odabrana da pobudi interes učenika, potakne njegovu kreativnost i rezultira stjecanjem novih znanja. Vezano uz ovaj diplomski rad, okvir teme predstavlja niz fizikalnih pokusa kojima se učenika potiče na interes i znatiželju.

2. Planiranje rada

Za izvedbu projekta ključno je da postoji jasno definiran plan rada koji uključuje organizaciju (samostalni ili grupni rad), definiranje radnih zadataka i rokova izvedbe.

3. Cilj rada

Nastavnik nakon uvoda u temu projekta treba učenicima jasno izložiti ciljeve rada, odnosno što se očekuje kao rezultat projekta. Ako se radi o vremenski duljem projektu, dobro je definirati ciljeve pojedinih etapa projekta, kako bi učenik ispunjavajući te ciljeve i sam mogao pratiti svoj napredak u projektu.

4. Metodologija

Metodologija izvedbe projekta je jedna od temeljnih komponenti projektne nastave. U okvirima današnjeg vrlo dinamičnog razvoja znanosti i tehnologije, temelj modernog obrazovanja predstavljaju znanja o tome kako pristupiti novoj temi, kojim metodama ju obraditi i na koji način doći do zaključaka i prezentirati ih. Kroz projektnu nastavu, neovisno o temi, učenik uči o konceptima kako se pripremiti za temu projekta, pronaći potrebne informacije (literaturu) te kojim metodama pristupiti izradi projekta. To su vještine koje učenik stiče kroz praktičan rad na projektima. Nastavnik je taj koji pomaže učenicima, ne toliko u obradi same teme projekta koliko u razvoju navedenih metodoloških vještina.

5. Predstavljanje rada

Predstavljanje rezultata projekta uključujući kreativne ideje je jedna od važnih komponenti projektne nastave, a koje gotovo nema u klasičnoj nastavi. Učenici predstavljaju rezultate rada u obliku plakata, pjesme, prezentacije ili scenskog

programa, način predstavljanja rada ovisi o kreativnosti, mašti i interesima učenika unutar grupe.

6. Vrednovanje rezultata rada

Vrednovanje rezultat rada vode nastavnici, učenici zajedno s nastavnikom analiziraju projekt, raspravlja se što se postiglo radom, što je dobro, a što je moglo drugačije. Važno je učenike pohvaliti i motivirati za buduće projekte i na kraju pitati učenike kako su oni sami zadovoljni s projektom.

3. MEHANIKA FLUIDA

Tema ovog diplomskog rada su demonstracijski pokusi u području mehanike fluida. Da bi razjasnili fizikalnu pozadinu pokusa potrebno je definirati teorijski okvir kojeg ćemo pri tome upotrijebiti. U ovom poglavlju definirat ćemo osnovna statična i dinamična svojstva fluida. Mehanika fluida proučava fluide u mirovanju (statika fluida) i u gibanju (dinamika fluida) te interakciju fluida s čvrstim tijelima i drugim fluidima. U mehanici fluida često se razmatraju fluid koji su gotovo nestlačivi. Primjer takvog fluida je voda, a proučavanje njenih svojstava naziva se hidromehanika (hidrostatika i hidrodinamika). Za razliku od tekućina gdje sila kohezije drži molekule na okupu, kod plinova se ne može primijeniti aproksimacija nestlačivosti budući da su zbog znatno manje gustoće mase uslijed porasta tlaka lako stlačivi. Iz istog razloga na granici tekućine i atmosfere se javlja slobodna površina. Dakle, osnovna razlika plinova i tekućina je što plin lako mijenja oblik i volumen, a tekućina samo lako oblik, a teško volumen.

3.1 Osnovna svojstva fluida

Gustoća

Fluidi su materijali koji mogu teći (lat. fluidus = tekući), odnosno nemaju definiranu strukturu već se prilagođavaju obliku spremnika u kome se nalaze. Općenito tvar može biti u krutom, tekućem i plinovitom stanju, a na visokim temperaturama imamo i pojavu plazme (slobodnih elektrona i iona). Krutu tvar karakterizira definirani oblik koji se bitno ne mijenja promjenom vanjskih uvjeta. Za razliku od toga, čestice fluida (plinovi, tekućine, plazma) lako su pokretne, pa fluidi mijenjaju svoj oblik ovisno o spremniku u kome se nalaze. Možemo reći da se fluidi pod djelovanjem tangencijalnog naprezanja deformiraju, odnosno struje.

U mehanici fluida pretpostavljamo da je fluid homogen i izotropan. Kod homogenog fluida fizikalna svojstva svake čestice su ista, a izotropnost znači da ne ovise o smjeru.

Gustoća mase tekućih ili plinovitih tvari jedna je od najvažnijih značajki koja opisuje njihovo ponašanje kao fluida.

Gustoća mase, ρ (kg/m^3), je omjer ukupne mase tvari m i obujma V u kome se ona nalazi:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (3.1)$$

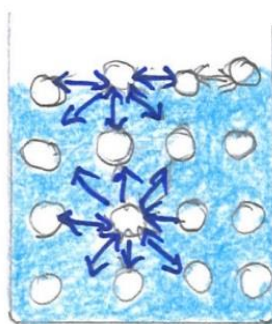
Različite tvari jednakih obujma imaju različite mase tako da gustoća ovisi o vrsti tvari. Plinovi imaju najmanju gustoću u odnosu na tekućine i čvrste tvari. Kod plinova udaljenost molekula

su relativno velike te je velik prazan prostor između molekula. Zbog toga je gustoća plina značajno osjetljivija na promjenu temperature i tlaka. Molekule tekućih i čvrstih tvari su puno gušće raspoređene i manji je prazan prostor između njih te je zbog toga i njihova gustoća veća. Stoga promjene temperature i tlaka znatno manje utječu na gustoću.

Viskoznost

Kod gibanja fluida između molekula fluida javljaju se sile otpora koje su po svojoj prirodi slične sili trenja. No, za razliku od sile trenja koja se javlja na dodirnoj plohi dvaju tijela koja se međusobno gibaju, kod fluida se sila otpora javlja i u njegovoj unutrašnjosti, pa se zato neki put naziva i unutarnje trenje. Ono je toliko važno za gibanje fluida da je dobilo i svoje posebno ime: viskoznost. Kada se dva sloja tekućine gibaju relativnom brzinom jedan prema drugome, javljaju se sile koje nastoje spriječiti ovo relativno gibanje. Te sile, slične trenju (jer djeluju suprotno od smjera gibanja tekućine i usporavaju njeno gibanje, zovu se sile viskoznosti. Viskoznost je, dakle, otpor tekućine prema tečenju. Uzrok su međumolekularne sile kojima se molekule tekućine međusobno privlače i time opiru smicanju susjednih slojeva. Viskoznost se javlja i kod plinova, ali ovdje njen uzrok nisu međumolekularne sile, nego difuzija molekula među slojevima. Utjecaj difuzije u plinovima puno je manji od utjecaja međumolekularnih sila u tekućinama tako da plinovi pokazuju znatno manju viskoznost od tekućine. Viskoznost kod tekućine opada s temperaturom, a kod plinova raste.

Površinska napetost tekućine



Slika 3.1. Objašnjenje površinske napetosti tekućine. Molekulu koja se nalazi na površini tekućine susjedne molekule tekućine vuku prema dolje. Sile na molekulu koja se nalazi unutar tekućine se međusobno poništavaju.

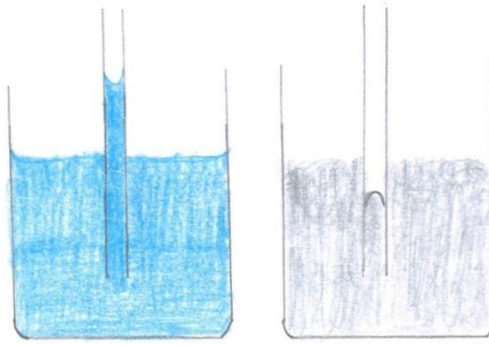
Molekule se u tekućini međusobno privlače slabim silama, koje su dovoljne da molekule

tekućine drže na okupu. Pogleda li se neka nasumice izabrana molekula u tekućini (slika 3.1.) može se zaključiti da je rezultantna sila, kojom sve okolne molekule djeluju na nju, jednaka nuli. No, za molekulu koja se nalazi na površini tekućine, situacija je drugačija. Kako iznad nje nema drugih molekula, koje bi ju privlačile, ostaje samo djelovanje molekula oko i ispod nje, pa je rezultantna sila na nju usmjerena u unutrašnjost tekućine. Posljedica ove pojave je da tekućina uvijek zauzima oblik sa najmanjom mogućom površinom. Za tekućine u posudama, rezervoarima i sl. ta je površina (koja se naziva i slobodna površina) ravna, a ako je tekućina slobodna u prostoru (npr. kapljica kiše u zraku), skuplja se u kuglu (uz zanemarivanje ostalih sila koje na nju djeluju) jer kugla za dani volumen tekućine ima najmanju moguću površinu.

Kapilarnost tekućine

Kapilare su vrlo tanke cjevčice koje, uronjene u tekućinu, pokazuju neke naročite pojave. Utačemo li takvu kapilaru u vodu ili neku drugu tekućinu, vidjet ćemo da tekućina ne stoji u kapilari u istoj razini kao u širokoj posudi već više ili niže. Molekule u tekućinama imaju jake privlačne intermolekularne sile. Ako su između istih molekula, one se zovu kohezivne sile. Njihovo porijeklo su električne sile (van der Waalove sile, ponekad zvane van der Waalove veze). Kohezivne sile (kraće kohezija) su još jače na površini te stvaraju površinsku napetost. Adhezivne sile (adhezija) se javljaju između različitih molekula, npr. između vode i stijena ili sedimenata s kojima je u kontaktu. Adhezivne sile između vode i stijenki uskih kanala (kapilara) jače su od kohezivnih i dovode do pojave kapilarnosti.

Površina tekućine u kapilari zove se meniskus koji može biti udubljen (konkavan) ili ispupčen (konveksan). Kohezija i adhezija daju rezultantnu silu na koju se površina tekućine uvijek postavlja okomito. Ako je kohezija veća od adhezije, meniskus je konveksan i tekućina ne moči stjenke posude, na primjer kod žive u staklenoj kapilari gdje živa stoji niže nego u širokoj posudi (slika 3.2). Ako je adhezija veća od kohezije, meniskus je konkavan, tekućina moči stjenke posude, na primjer slučaj kod vode u staklenoj kapilari gdje voda stoji više nego u širokoj posudi (slika 3.2). Ovo svojstvo tekućina da stoje u kapilarama više, odnosno niže nego u širokoj posudi naziva se kapilarnost. Svojstvo kapilarnosti omogućuje i vlazi da se diže kroz stabljike biljke. Visina do koje se digne tekućina u kapilarnoj cijevi je veća, što je cijev uža.



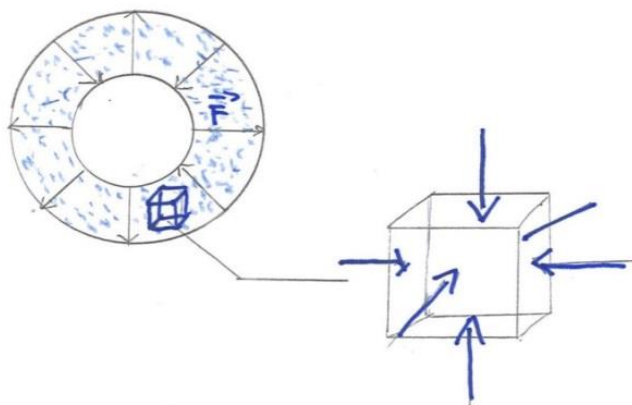
Slika 3.2. Voda se u staklenoj kapilari podiže (lijevo), a živa se u staklenoj kapilari spušta (desno)

3.2 STATIKA FLUIDA

Pojam tlaka objasniti ćemo na primjeru automobilske gume napunjene zrakom. Molekule zraka (oko 99% zraka se sastoji od plinova dušika i kisika) slobodno se kreću cijelim obujmom gume i pritom se sudaraju jedna s drugom i s unutarnjom stjenkom gume. Sudari sa stjenkama gume rezultiraju silom na svaki dio površine stjenke.

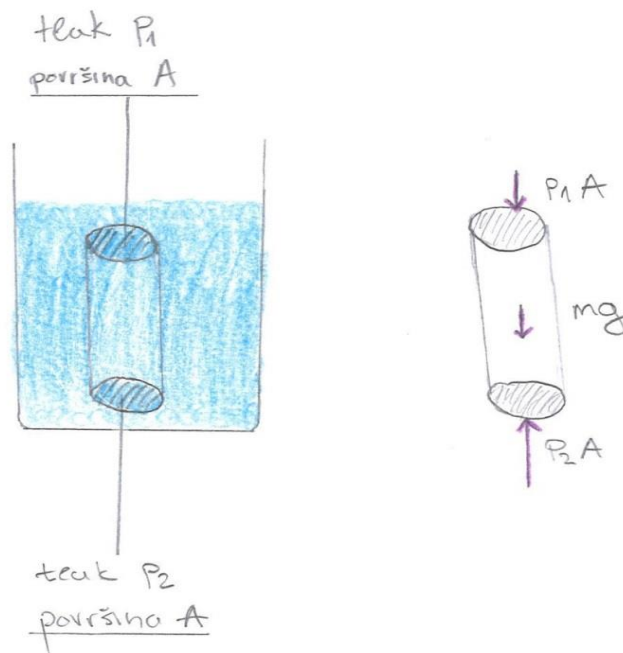
Tlak (SI jedinica Pascal, Pa) je iznos okomite komponente tih sila na površinu stjenke podijeljen s njihovom površinom A

$$p = \frac{F}{A} \quad (3.2)$$



Slika 3.3. Tlak u gumi je sila koja djeluje na unutrašnju površinu gume. Zamislimo li kockom omeđeni element fluida unutar gume, tlak uzrokuje okomite sile na površine koje se poništavaju.

Hidrostatski tlak



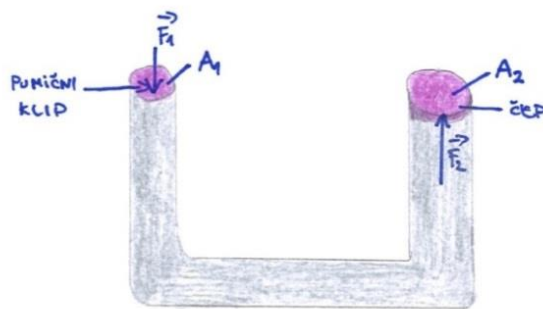
Slika 3.4. Zamislimo li u fluidu cilindar visine h i baze A (volumena $V = Ah$), sile okomite na y-os se ponište te preostanu sile na gornju plohu $F_1 = p_1 A$, sile na donju plohu $F_2 = p_2 A$ te težina cilindra mg . Kako se radi o zamišljenom cilindru, on mora biti u ravnoteži (hidrostatika), odnosno zbroj svih sila mora biti 0. Dijeljenjem izraza s A dobivamo ovisnost tlaka o dubini $p_2 = p_1 + \rho gh$.

Kao što je prikazano na slici, tlak u fluidu proporcionalan je dubini i gustoći mase fluida, a ne ovisi o obliku spremnika ili prostora gdje se fluid gustoće ρ nalazi

$$p_2 = p_1 + \rho gh \quad (3.3)$$

Tlak ρgh naziva se hidrostatski tlak. Razmatramo li slučaj gdje je h dubina urona u fluid čija je površina na atmosferskom tlaku p_{atm} , tada je $p_1 = p_{atm}$. Hidrostatski tlak ovisi samo o dubini, a nema ovisnosti o smjeru. Uz to se pretpostavlja da se gustoća fluida ne mijenja s dubinom, odnosno da je on nestlačiv. To ne vrijedi za plinove.

Pascalov princip govori da svaka promjena tlaka primijenjena na zatvoreni statički fluid distribuira se na sve dijelove fluida.



Slika 3.5. Zatvoreni sustav fluida na koji djeluju vanjske sile. Ako se klip i čep na slici nalaze na istoj visini, njihovi tlakovi

$$p_1 = \frac{F_1}{A_1} \text{ i } p_2 = \frac{F_2}{A_2} \text{ su isti. To je princip funkcioniranja hidrauličnih sustava.}$$

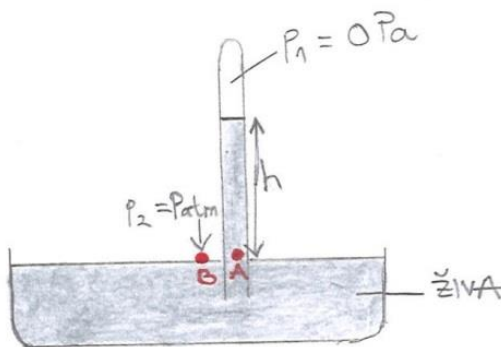
Arhimedov princip definira silu uzgona koja djeluje na tijelo uronjeno u fluid gustoće ρ . Sila uzgona je posljedica razlike tlaka na gornjoj i donjoj strani tijela. Općenito, oblik tijela nije bitan. Sila uzgona je po iznosu jednaka težini fluida u kojem se tijelo nalazi, a koji bi zauzeo volumen koji ima tijelo. To je Arhimedov princip prema kome je sila uzgona jednaka težini fluida kojeg je tijelo istisnulo

$$F_u = \rho V g \quad (3.4)$$

gdje je ρ gustoća fluida, V volumen tijela, a $\rho V g = m g$ težina istisnutog fluida.

Mjerenje tlaka:

Jednostavni instrumenti za mjerenje tlaka su živin barometar i manometar.

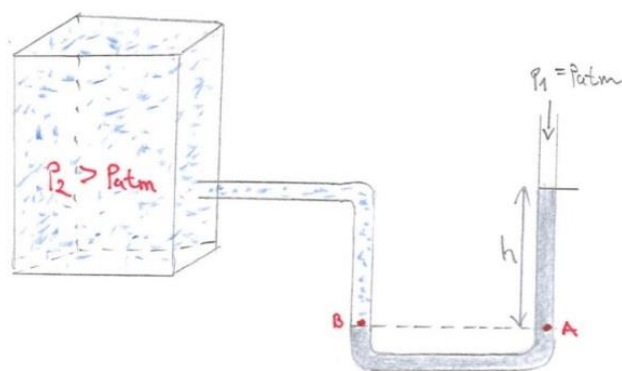


Slika 3.6. Živin barometar sastoji od staklene cijevi napunjene živom i otvorom uronjene u živu u otvorenoj posudi. Osim zanemarive količine živinih para, prostor iznad žive u cijevi je prazan (vakuum), pa je tlak u tom prostoru približno 0 Pa.

Točka A (tlak p_2 na dnu stupca žive) i točka B (atmosferski tlak) nalaze se na jednakoj visini pa tlakovi u tim točkama moraju biti isti:

$$p_{atm} = p_2 = \rho Pa + \rho gh$$

Uz poznatu gustoću žive ρ i ubrzanje sile teže g , može se odrediti atmosferski tlak na temelju mjerenja visine stupca žive. Ako je $p_{atm} = 1.013 \cdot 10^5 \text{ Pa}$, tada je visina stupca žive jednak 760 mm .



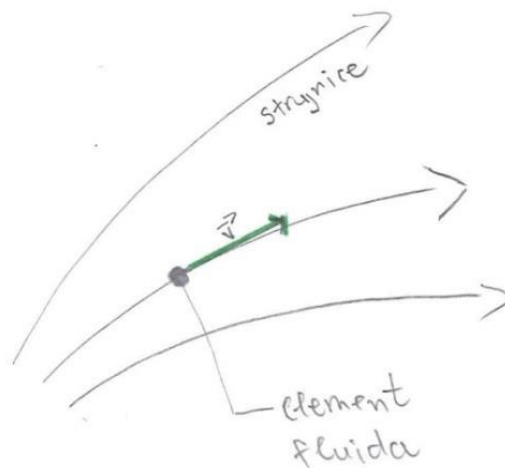
Slika 3.7. Manometar je U-cijev u kojoj se nalazi fluid poznate gustoće. Jedna strana manometra je na poznatom tlaku p_1 (npr. atmosferskom), a druga na nepoznatom tlaku p_2 .

Manometar je U-cijev s fluidom poznate gustoće ρ , na čijem je jednom kraju poznati tlak p_1 , a na drugom nepoznati tlak p_2 . Ako su ti tlakovi različiti, dolazi do neravnoteže fluida u cijevi. Ako je jedan kraj otvoren na atmosferskom tlaku, kako tlak u točkama A i B mora biti isti, proizlazi da je

$$p_2 = \rho gh + p_{atm}$$

3.3 DINAMIKA FLUIDA

Pri gibanju fluida promatramo skupno gibanje čestica fluida u smjeru njegova toka (strujanje fluida). Poznati su izrazi „morska struja“ ili „struja rijeke“. Ovi izrazi nam označavaju da se more ili rijeka teku u smjeru spomenute struje.



Slika 3.8. Gibanje fluida prikazujemo strujnicama. Vektor brzine čestice fluida tangencijalan je na strujnicu.

Nestacionarno gibanje fluida karakterizira stalna promjena smjera i brzine promatrane čestice fluida u vremenu. Postoji i gibanje fluida kod kojeg se slojevi fluida miješaju. Strujnice su u ovom slučaju vrtložne. Takvo gibanje fluida zovemo turbulentno ili vrtložno- ekstremni slučaj nestacionarnog gibanja.

Stacionarno gibanje fluida karakterizira konstantna brzina i smjer čestica fluida u vremenu na određenom položaju. Pri tome se putanja čestice fluida podudara sa s strujnicama.

Fluid može bit stlačivi ili nestlačivi. Vodu i niz drugih tekućina možemo smatrati gotovo nestlačivim (nema promjene gustoće s promjenom tlaka), dok kod plinova, u kojima postoji relativno veliki prazni prostor između molekula, ta aproksimacija nije moguća.

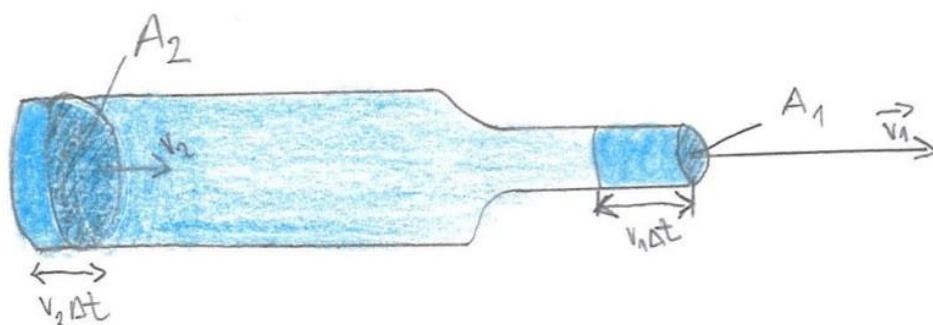
Jednadžba kontinuiteta

U praktičnom razmatranju voda se može smatrati nestlačivom. Daniel Bernoulli je koristeći zakon očuvanja energije uveo princip koji povezuje veličine koje karakteriziraju fluid: tlak, brzinu (kinetičku energiju) i promjenu visine (potencijalnu energiju). Bernoullijeva jednadžba striktno vrijedi za nestlačive i neviskozne fluide.

Prije definiranja Bernoullijeve jednadžbe razmotrimo jednadžbu kontinuiteta koja povezuje brzinu kretanja fluida i presjek cijevi.

Jeste li ikada koristili palac kako bi kontrolirali vodu koja teče iz cijevi? Ako jeste primijetili ste da je brzina vode veća kada palcem kontroliramo protjecanje vode. Ovu pojavu možemo

objasniti preko jednadžbe kontinuiteta koja kreće od činjenice da tok mase fluida konstantan (masa vode koja prijeđe bilo kojom točkom tijekom određenog vremena je konstantna).



Slika 3.9. Proračun toka mase fluida kroz cijev promjenjivog presjeka.

Da bi kvantitativno prikazali izrađenu zakonitost, krenimo od jednostavnog primjera (slika 3.9.). Na širem dijelu cijevi presjeka A_2 (pozicija 2.) fluid ima brzinu v_2 i gustoću ρ . Na poziciji 1 cijev ima manju površinu A_1 i gustoću ρ , a veću brzinu v_1 . Za vrijeme Δt fluid se na poziciji 1 pomakne za $\Delta x_1 = v_1 \Delta t$, pa je volumen fluida koji je prošao u tom vremenu kroz poziciju 1 dan s $A_1 v_1 \Delta t$. Stoga je masa fluida koja je prošla kroz točku jedan dana s

$\Delta m_1 = \rho A_1 v_1 \Delta t$, odnosno kroz točku jedan prolazi sljedeća masa fluida u jedinici vremena (tok mase fluida):

$$\frac{\Delta m_1}{\Delta t} = \rho A_1 v_1$$

Do sličnog zaključka možemo doći razmatranjem toka mase fluida u točki 2

$$\frac{\Delta m_2}{\Delta t} = \rho A_2 v_2$$

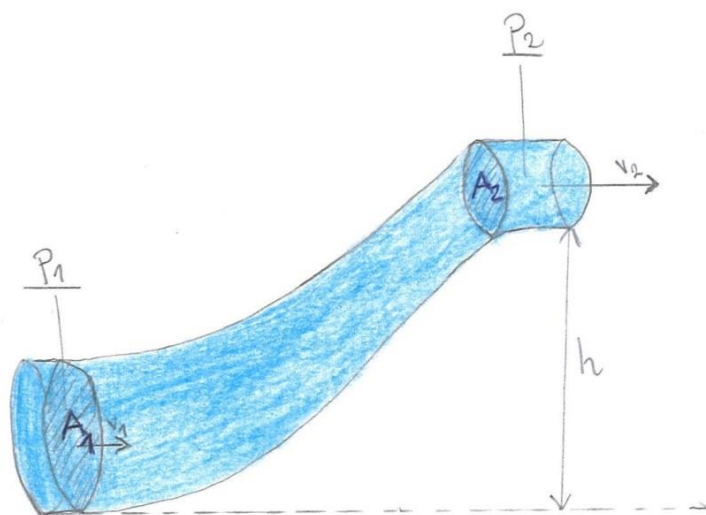
S obzirom da je kao što je prije rečeno tok mase fluida konstantan, odnosno ista masa protiče u istom vremenu kroz bilo koju točku cijevi, možemo izjednačiti tokove mase fluida u točkama 1 i 2, a s obzirom da je gustoća nepromijenjena preostaje

$$A_1 v_1 = A_2 v_2 \quad (3.5)$$

Ovo je jednadžba kontinuiteta koja govori na koji način brzina stacionarnog toka fluida ovisi o presjeku cijevi.

Bernoullijeva jednadžba

Razmotrimo sada zakonitosti stacionarnog protjecanja idealnog fluida kroz cijevi promjenjivog presjeka i promjene visine iznad površine Zemlje.



Slika 3.10. Model stacionarnog fluida kroz cijev promjenjivog presjeka i visine.

Do promjene tlaka dolazi promjenom presjeka cijevi. Također, podizanjem fluida u cijevi konstantnog presjeka, tlak na višoj točki je niži od tlaka na nižoj točki. Prema zakonu očuvanja energije ukupni rad za pomicanje elementa fluida $W = (P_2 - P_1)V$ jednak je promjeni kinetičke i potencijalne energije $\Delta E = \left(\frac{1}{2}mv_1^2 + mgy_1\right) - \left(\frac{1}{2}mv_2^2 + mgy_2\right)$.

Uz $\rho = m/V$ dobivamo Bernoullijevu jednadžbu

Rad za prijenos fluida

$$p_1 + \rho gh_1 + \frac{1}{2}\rho v_1^2 = p_2 + \rho gh_2 + \frac{1}{2}\rho v_2^2 \quad (3.6)$$

p_1hidraulički tlak

ρgh hidrostatski tlak

$\frac{1}{2}\rho v$dinamički tlak – tlak koji fluid ima kad se giba, ako se fluid ne giba znači da dinamičkog tlaka nema

hidraulički tlak + hidrostatski tlak = statički tlak

4. DEMONSTRACIJSKI POKUSI IZ MEHANIKE FLUIDA

U ovom poglavlju dajemo prikaz sljedećih pokusa:

R.br.	Naziv pokusa	Tema koja se obrađuje
1.	Spojene posude s različitim razinama fluida	Osnovna svojstva fluida
2.	Tečenje fluida	Osnovna svojstva fluida
3.	Uloga atmosferskog tlaka	Statika fluida
4.	Ovisnost tlaka o dubini	Statika fluida
5.	Ovisnost tlaka o smjeru	Statika fluida
6.	Spojene posude s istim razinama fluida	Statika fluida
7.	Boca s tri rupice	Statika fluida
8.	Puhanje između listova papira	Dinamika fluida
9.	Žlica na vodi	Dinamika fluida
10.	Tornado u boci	Dinamika fluida

Tablica 1. Popis izvedenih pokusa

4.1 Osnovna svojstva fluida

Pokus 1. Spojene posude s različitim razinama fluida

Pribor: spojene cijevi različitog promjera, stalak za cijevi, obojeni alkohol

Opis: U cijev s najvećim promjerom ulijevajte obojeni alkohol



Slika 4.1. Spojene cijevi različitog promjera u kojima se nalazi obojeni alkohol

Opažanja: Kada smo ulijevali obojeni alkohol u cijev primijetili smo da je u najužoj cjevčici stupac alkohola najviši, a u najširoj cijevi najniži.

Objašnjenje pojave: Radi se o kapilarnom efektu. Kapilarni efekt je veći što je unutrašnji promjer cijevi manji, čime adhezijske sile (vezanje molekula vode na staklene stijenke) prevladaju kohezijske sile (sile između molekula vode).

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike i kemije: Pokus o kapilarnosti tekućine može se izvesti na satu fizike i kemije. Na satu fizike tema se obrađuje u 1.razredu gimnazije kada se počinje učiti mehanika fluida. Na uvodnom satu u cjelinu mehanike fluida može se izvesti par pokusa. Prije ovog pokusa dobro je izvesti pokus sa spojenim posudama većeg promjera gdje nema kapilarnog efekta. Zatim se izvede ovaj pokus i od učenika traži da detektiraju u čemu je razlika. Ovaj pokus spada u frontalno-opservacijske pokus. Aparaturu je potrebno pripremiti prije sata, a stalak za spojene cijevi može se napraviti i samostalno uz malo mašte. Aparatura se u razredu mora nalaziti na povišenom mjestu kako bi učenici što bolje vidjeli pokus. Učenike se može prozvati bliže aparaturi kako bi svi vidjeli uočenu pojavu. Pokus o kapilarnosti može se izvesti i na satu kemije u 2.razredu gimnazije kada se obrađuje cjelina osnovna svojstva tekućina.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

1. Uliti ćemo obojeni alkohol u spojene cijevi, koja su vaša očekivanja o razinama alkohola u cijevima? (prije toga učenicima je prikazan pokus sa spojenim posudama bez kapilarnog efekta).
2. Poklapaju li se vaša očekivanja s rezultatima pokusa?

Pokus 2. Tečenje fluida

Pribor: set fluida (obojena voda, sirup, šampon, med), posudice za nabrojane fluide, podmetač (čvrsto podloga dimenzije A4), papir, prozirna folija

Opis: Na podmetač zalijepite papir. Na njemu naznačite dvije linije (start i stop) kao na slici 4.3. Preko papira zalijepite prozirnu foliju. Podmetač postavite pod kutom od 90° u odnosu na horizontalu. U 4 posudice ulijte prethodno nabrojane fluide, svaku posudicu posebno izlijte na foliju i izmjerite vrijeme potrebno od start linije do stop linije. Na kraju usporedite vrijeme za sve 4 fluide.



Slika 4.2. Posudice- prva s lijeva- sirup za sok, obojena voda, šampon, med



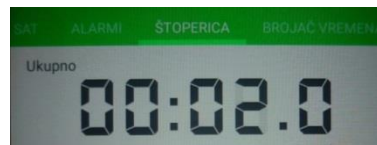
Slika 4.3. Obojena voda curi niz podmetač



Slika 4.4. Sirup curi niz podmetač



Slika 4.5. Vrijeme potrebno obojenoj vodi od start linije do stop linije



Slika 4.6. Vrijeme potrebno sirupu od start linije do stop linije



Slika 4.7. Šampon curi niz podmetač



Slika 4.8. Vrijeme potrebno šamponu od start linije do stop linije



Slika 4.9. Med curi niz podmetač



Slika 4.10. Vrijeme potrebno medu od start linije do stop linije

Opažanja: Puštajući četiri različite fluida niz foliju primjećujemo da je voda najbrže, a med najsporije putovao od startne linije do stop linije.

Fluidi	t/s
Obojena voda	00:00:07
Sirup za sok	00:02:00
Šampon	00:04:02
Med	00:28:02

Tablica 2. Popis fluida i vrijeme potrebno svakom fluidu od start linije do stop linije

Objašnjenje pojave: Gibanje fluida rezultat je djelovanja sile teže na fluid. Komponenti sile teže niz podmetač suprotstavlja se sila trenja u fluidu. Uzrok bržeg ili sporijeg protjecanja fluida je različita viskoznost- unutarnje trenje u fluidu što ga uzrokuju međumolekulne privlačne sile. Med je viskozniji od vode. Viskoznost osim o međumolekulnim silama ovisi i o obliku molekule i o temperaturi. Viskoznost je veća što su međumolekulne sile u jače ili ako su molekule u tekućini dugačke i razgranate pa se mogu zapetljati i otežavati protjecanje.

Viskoznost se bitno mijenja i s temperaturom, jer se povišenjem temperature smanjuje djelovanje međumolekulnih sila zbog veće kinetičke energije čestica.

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus kao i pokus s kapilarnosti može se izvesti na satu fizike i kemije. Na satu fizike tema se obrađuje u 1.razredu gimnazije kada se počinje učiti mehanika fluida. Na uvodnom satu u cjelinu mehanike fluida može se izvesti par pokusa koji pokazuju osnovna svojstva fluida, a jedan od njih je i viskoznost. Zbog jednostavnosti sredstava za pokus, uz detaljne upute, pokus se može zadati i za domaću zadaću o kojem se na sljedećem satu raspravlja. Na satu kemije tema se obrađuje u 2.razredu gimnazije u sklopu cjeline „Osnovna svojstva tekućina“.

Pokus iz viskoznosti može se izvesti i malo drugačije. Za drugu izvedbu pokusa potrebne su 3 plastične boce ili staklene cijevi. Boce ili cijevi postavljaju se na povišenu poziciju kako bi svi učenici dobro vidjeli pokus. Jedna boca se ostavi prazna, u drugu se ulije voda, a u treću ulje. U boce se u isto vrijeme ubace 3 iste kuglice i promatra se gdje kuglica najbrže putuje, a gdje najsporije.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

Očekivani odgovori učenika nalaze se u zagradi

1. Pustit ćemo tri identične kuglice u isto vrijeme sa iste visine u boce. Da li će sve kuglice doći istovremeno do dna, kao što bi to bilo da ih pustimo u zraku? (kuglice će u isto vrijeme doći do dna, vrijeme će ovisiti o vrsti fluida, u ulju će najdulje putovati)
2. Zašto mislite da neće u isto vrijeme do dna doći sve tri kuglice? (ovo pitanje dolazi u obzir ako netko od učenika odgovori prije izvedbe pokusa da kuglice neće u isto vrijeme doći do dna)
3. U ulju je najdulje putovala kuglica, ima li netko ideju zašto? (ulje je gušće od vode)
4. Koje veze djeluju između molekula u tekućinama?
5. Utječu li te veze na gibanje?

Radni listić za domaću zadaću:

Pribor: set fluida (obojena voda, sirup za sok, šampon, med, ulje), posudice za nabrojane fluide, podmetač, papir, prozirna folija

Opis pokusa: Na podmetač zalijepite papir, na papiru povucite dvije linije, jedna predstavlja start liniju, a druga stop liniju. Na papir zalijepite prozirnu foliju. U posudice ulijte prethodno nabrojane fluide, svaku posudicu posebno izlijte na podmetač i izmjerite vrijeme potrebno od start linije do stop linije. Na kraju usporedite vremena za sve fluide.

Opažanja:

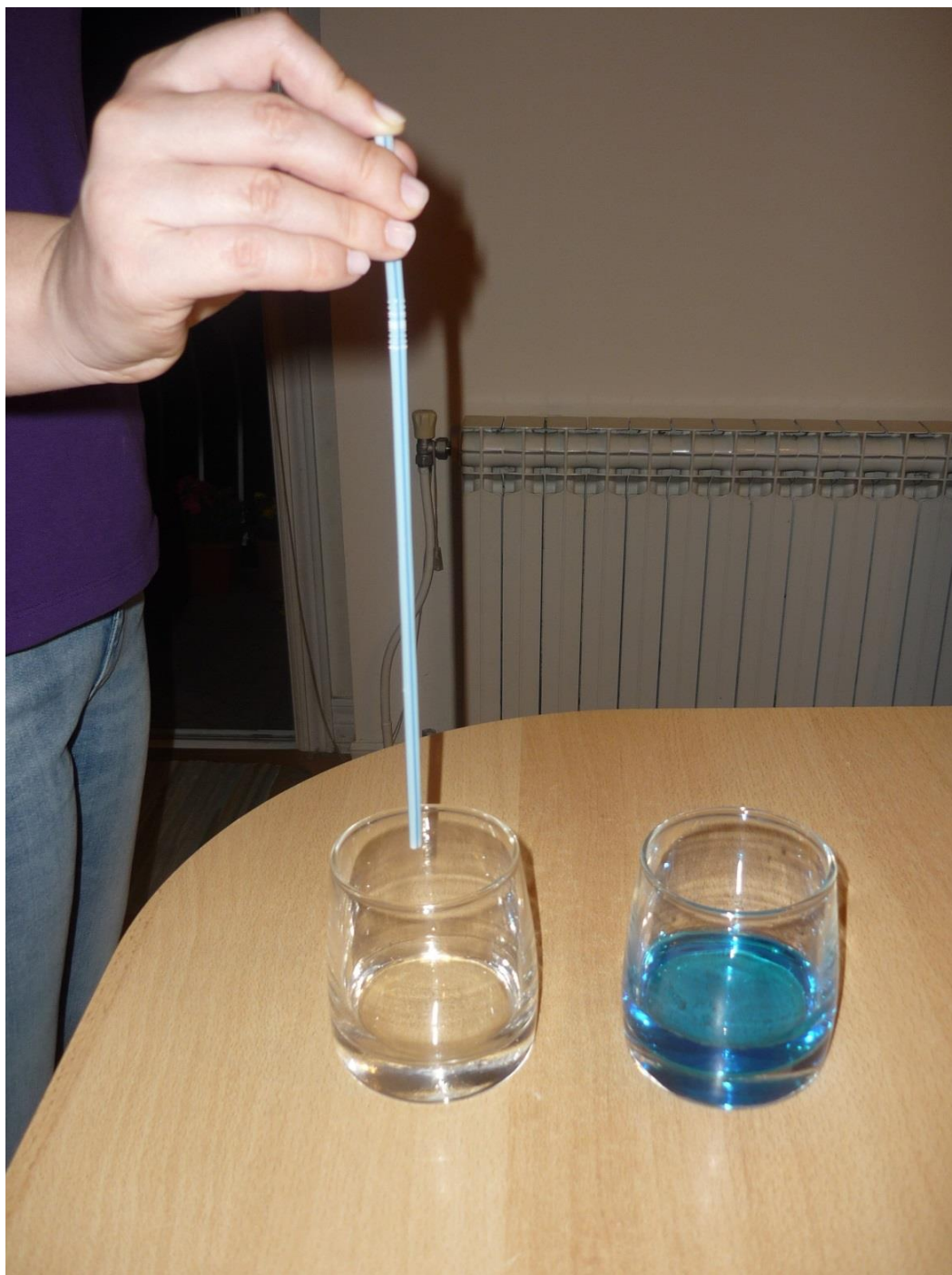
Fluidi	t/s

4.2 Statika fluida

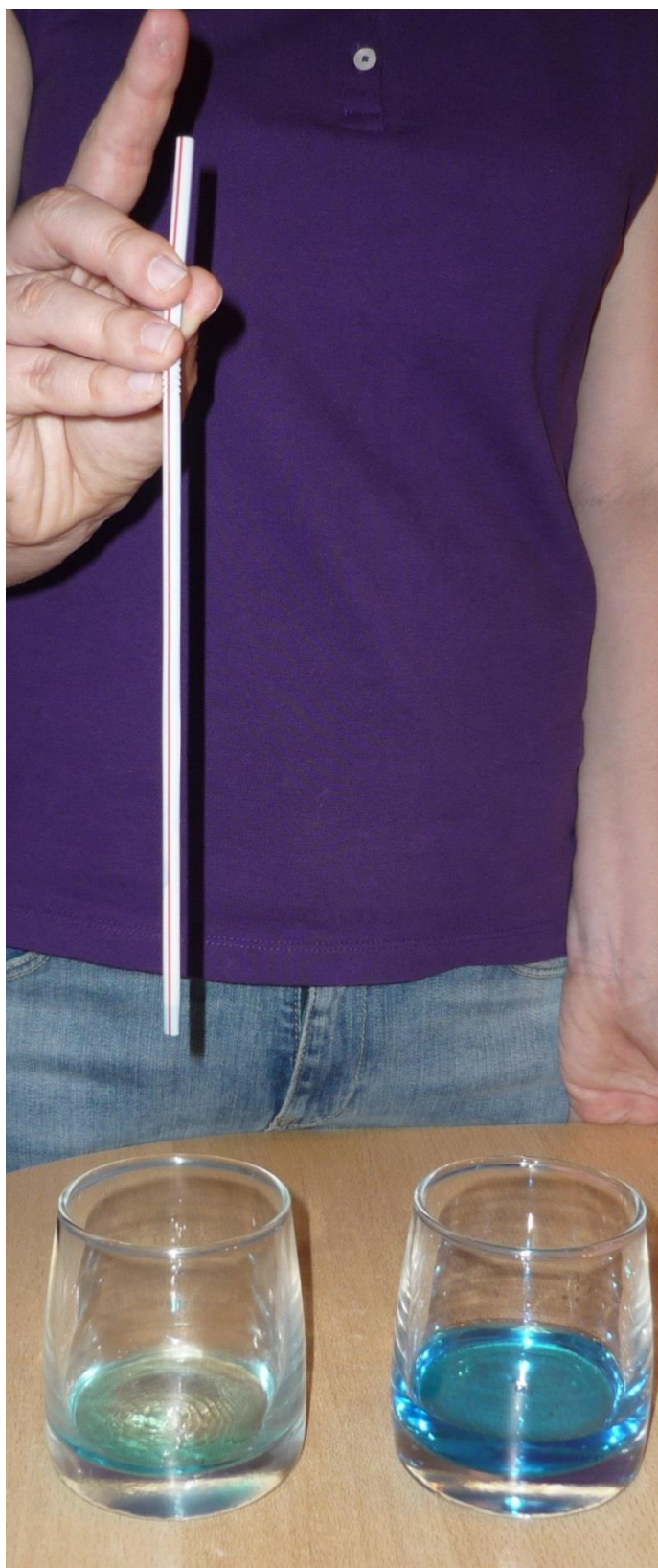
Pokus 3. Uloga atmosferskog tlaka

Pribor: dvije čaše, slamka, voda, jestive boje

Opis: U čašu napunjenu obojanom vodom uronite slamku, začepite s gornje strane prstom slamku i izvucite iz čaše, približite slamku drugoj čaši i pustite prst.



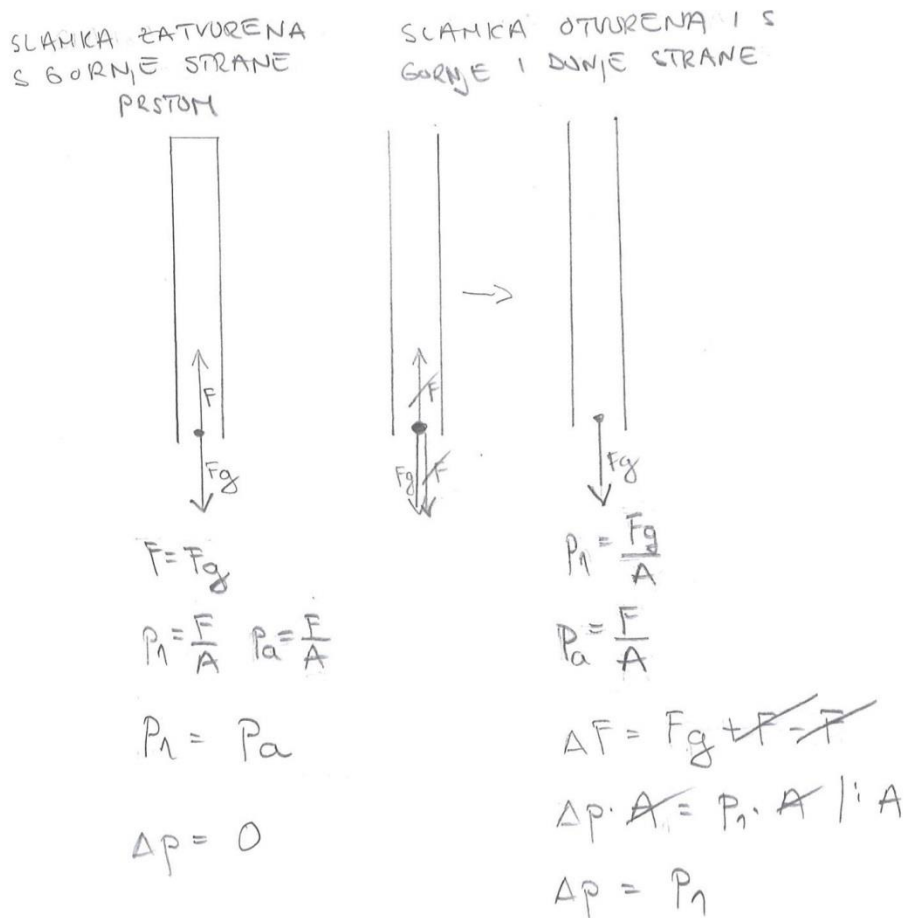
Slika 4.11. Obojena voda ne curi iz slamke kada se prst nalazi na gornjoj strani slamke



Slika 4.12. Obojena voda je iscurila u čaši kada se makne prst s gornje strane slamke

Opazanja: Kad slamku napunjenu vodom izvučemo iz čaše koju smo prethodno začepili s gornje stranom prstom primjećujemo da voda nije iscurila iz slamke. Pomaknuvši prst s gornje strane slamke voda iscure iz slamke.

Objašnjenje pojave: Na vodu u slamki prema dolje djeluje sila teža $F_g = mg$. Kada bi ona bila jedina sila koja djeluje na vodu ona bi iscurila iz slamke. No slamka, kao i svaki predmet u okolini izložena je atmosferskom tlaku zraka. S obzirom da je voda izložena atmosferskom tlaku samo s donje strane slamke, na tu površinu djeluje sila $F = P_a \cdot A$ u smjeru suprotnom od sile teže, gdje je A površina presjeka slamke. Kada maknemo prst sa slamke, sila istog iznosa $F = P_a \cdot A$, u smjeru sile teže djeluje na površinu vode s gornje strane slamke, tako da se te dvije sile uzrokovane atmosferskim tlakom međusobno ponište. Stoga je resultantna sila koja djeluje na vodu u slamki nakon što maknemo prst sila teža koja djeluje prema dolje, pa se voda počne gibati pod utjecajem te sile i istječe iz slamke.



Slika 4.13. Djelovanja sile

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus zbog svoje jednostavnosti izvođenja može se osmisliti kao grupni učenički opservacijski pokus ili kao frontalni opservacijski pokus. Učenike se može podijeliti u manje skupine po 4,5 učenika. Na stolu svake grupe se nalazi potreban pribor koji se vrlo jednostavno nabavi. Cilj pokusa je pokazati postojanje atmosferskog tlaka. Prethodno potrebno znanje za ovu cjelinu je poznavanje tlaka.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

Očekivani odgovori učenika se nalaze u zagradama poslije postavljenog pitanja.

1. Ako začepimo s gornje strane prstom slamku i izvučemo iz čaše, što će se dogoditi?
(voda će iscuriti iz slamke)
2. Što zadržava vodu u cijevi? (sila)
3. Koje sile djeluju na vodu u cijevi? (sila teža)
4. Ako djeluje samo težina tekućine zašto voda ne iscuri kada držimo prst? (Učenici dolaze do spoznaje da postoji još jedna sila koja djeluje na tekućinu)
5. Što će se dogoditi ako maknemo prst sa slamke? (voda će iscuriti)
6. Probajte nacrtati dijagram sila za tekućinu u slamki kada je držimo zatvorenu s gornje strane? (učenici zasebno crtaju dijagram sila u bilježnicu, na kraju na ploči zajedno nacrtamo dijagram sila i dolazimo do sile koja djeluje suprotno od težine tekućine, tj. dolazimo do sile koja je posljedica atmosferskog tlaka)
7. Izračunajte težinu atmosfere? ($R_{zemlje} = 6400 \text{ km}$)

Pokus 4. Ovisnost tlaka o dubini

Pribor: manometar, posuda s vodom, stalak na kojoj se nalazi pomična opna, gumena cijev

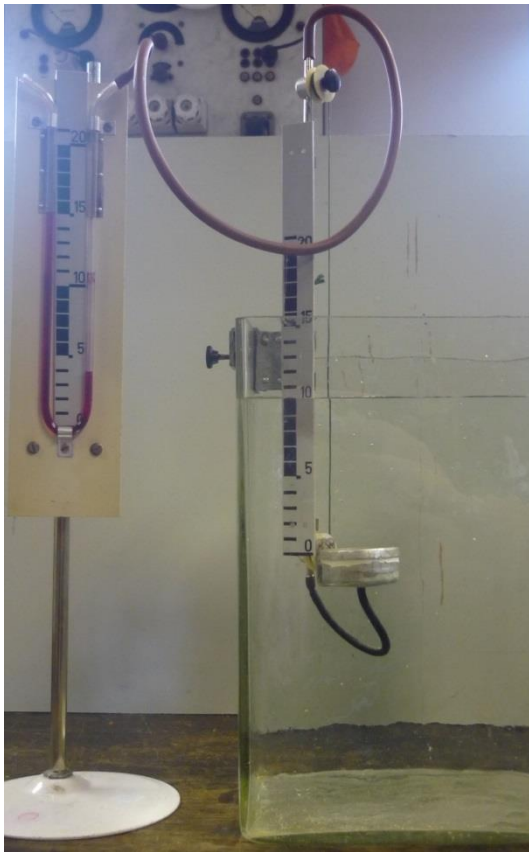
Opis: Pomičite stalak s opnom unutar vode i na manometru promatrajte kako se tlak mijenja s dubinom.



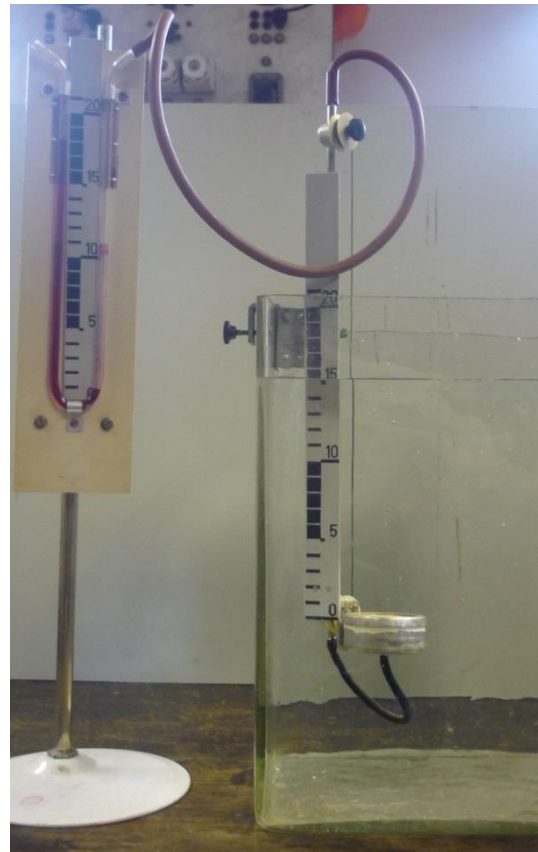
Slika 4.14. Manometar spojen na stalak na kojem se nalazi pomična opna



Slika 4.15. Pomičan stalak uronjen na određenu dubinu u vodi



Slika 4.16. Pomičan stalak uronjen na određenu dubinu u vodi



Slika 4.17. Pomičan stalak uronjen na određenu dubinu u vodi - ovisnost hidrostatskog tlaka o dubinu

Opazanja: Pomicanjem stalka prema dolje tlak tekućine izmjeren na manometru je veći.

Objašnjenje pojave: : U tekućini se promjenom dubine javlja hidrostatski tlak. Iz pokusa je vidljivo da tlak linearno raste s povećanjem dubine.

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus je frontalno-opservacijski pomoću kojeg se učenici upoznaju s hidrostatskim tlakom. Izvedba ovog pokusa osmišljena je za uvodni sat o hidrostatskom tlaku. Aparaturu je potrebno postaviti na visoku poziciju kako bi svi učenici imali uvid u pokus. Potrebnu aparaturu za pokus može se nabaviti u dogovoru sa školom. Prethodno potrebno znanja učenika je poznavanje tlaka.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

Na početku sata prije nego što stavimo stalak s pokretljivom opnom u vodu možemo povezati stalak i manometar i na opnu staviti prst i komentirati s učenicima što mjeri manometar. S učenicima je potrebno razjasniti na kojem principu radi manometar.

(očekivani odgovori učenika nalaze se u zagradi)

1. Ako uronimo stalak s opnom u vodu koji tlak mjeri manometar? (izmjerit će atmosferski tlak)
2. Postoji li tlak u vodi?
3. Voli li netko od vas roniti? Što osjećate u ušima kada zaronite dublje?
4. Kada smo uronili stalak s opnom u vodu razina alkohola u U-cijevi su se promijenile, što nam to govori? (postoji tlak u vodi koji je različit od atmosferskog jer razine alkohola u U-cijevi nisu iste)
5. Što očekujete da će se dogoditi ako stalak pomaknemo dublje? (manometar će izmjeriti jednak tlak)
6. Slažu li se vaša očekivanja s rezultatima pokusa?
Što možete zaključiti na temelju rezultat pokusa, kako se tlak mijenja s dubinom?
tlak~dubina

Obrada podataka:

<i>h/m</i>	<i>0</i>	<i>0,05</i>	<i>0,1</i>	<i>0,15</i>
<i>p/Pa</i>	<i>100000</i>	<i>100470,4</i>	<i>100862,4</i>	<i>101332,8</i>

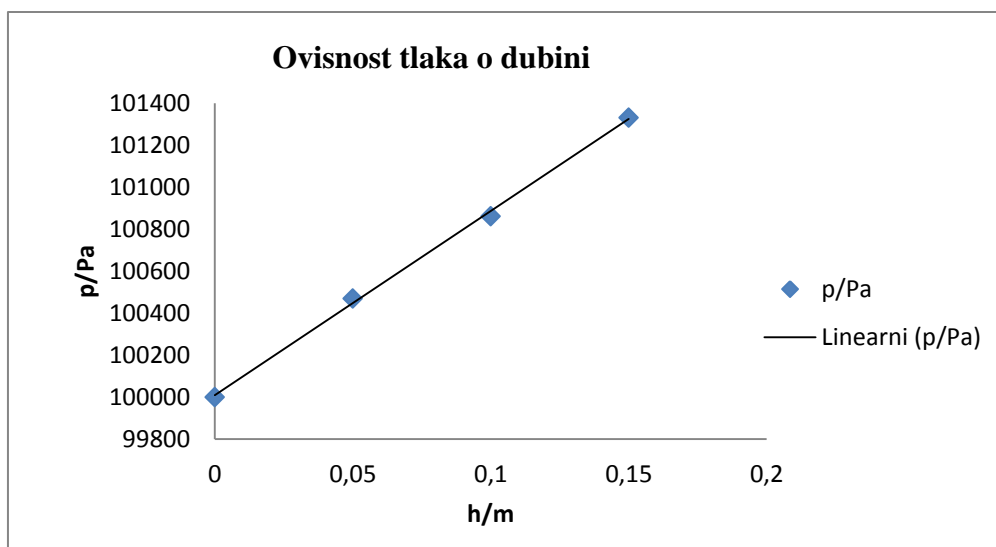
Tablica 3. Dubina tekućine i izračunati tlak na određenoj dubini

$$\rho(\text{alkohola}) = 789 \text{ kg/m}^3$$

Δh razlika u razinama alkohola u manometru

$$p = p_{\text{atm}} + \rho \cdot g \cdot \Delta h$$

$$p_{\text{atm}} = 1 \cdot 10^5 \text{ Pa}$$



Graf 1. Ovisnost tlaka o dubini

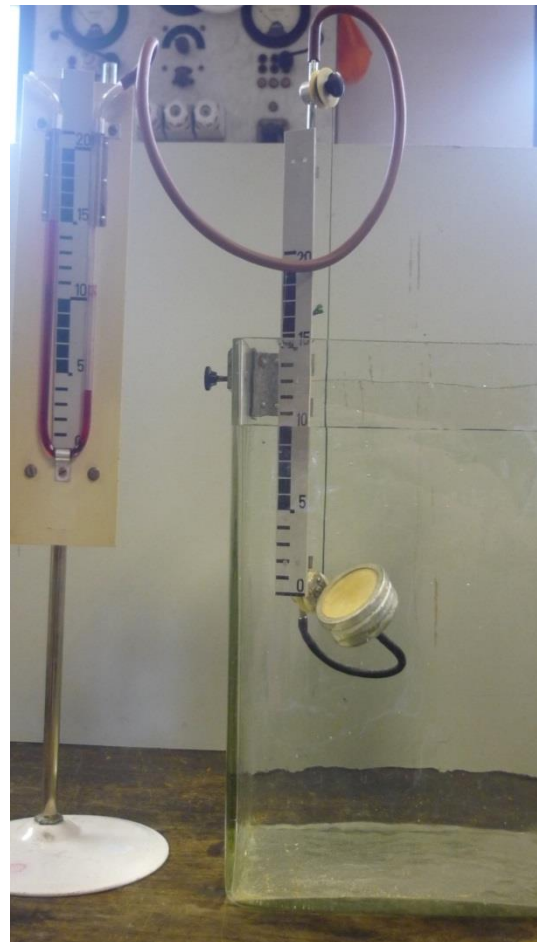
Pokus 5. Ovisnost tlaka o smjeru

Pribor: posuda s vodom, manometar, stalak s pokretljivom opnom, gumena cijev

Opis: Pomoću gumene cijevi spojite manometar s stalkom koji je zakvačen na posudu s vodom i na kojem se nalazi pokretljiva opna. Pomaknite stalak na određenu dubinu u vodi. Rotirajte opnu na stalnoj dubini u vodi i promatrajte promjenu tlaka na manometru.



Slika 4.18. Hidrostatski tlak u tekućini



Slika 4.19. Hidrostatski tlak u tekućini – testiranje ovisnosti tlaka o smjeru



Slika 4.20. Hidrostatski tlak u tekućini – promjena smjera



Slika 4.21. Hidrostatski tlak u tekućini – promjena smjera

Opažanja: Držeći stalak s opnom na određenoj dubini i okretanjem opne gore, dolje, lijevo desno primjećuje se da nema promjene tlaku na manometru.

Objašnjenje pojave: Tlak u tekućini djeluje u svim smjerovima i jednak je u svim smjerovima na istoj dubini.

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus izvodi se u sklopu pokusa upoznavanja hidrostatskog tlaka. Nakon što se izvede pokus s hidrostatskim tlakom, možemo odmah izvesti i ovaj pokus u kojem učenici nauče o djelovanju tlaka u svim smjerovima i jednako na istoj dubini. Pokus je osmišljen kao frontalno-opservacijski koji izvodi nastavnik uz maksimalnu aktivnost učenika.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

1. Ako držimo stalak s opnom na jednakoj dubini i pomičemo oko jedne osi opnu što očekujete na manometru, hoće li manometar izmjeriti tlak u vodi?
2. Što smo dokazali ovim pokusom? (tlak u tekućini djeluje jednako u svim smjerovima)

Pokus 6. Spojene posude s istim razinama fluida

Pribor: spojene cijevi različitih oblika, stalak za cijevi ili Erlenmeyerova tikvica, obojeni alkohol

Opis: U spojene posude različitih oblika ulije se obojeni alkohol



Slika 4.22. Spojene posude



Slika 4.23. Spojene posude

Opažanja: Ulijevanjem obojenog alkohola u spojene cijevi razine alkohola u svim cijevima su jednake.

Objašnjenje pojave: Visina tekućine u svim cijevima je jednaka bez obzira na oblik cijevi jer je hidrostatski tlak jednak u svim točkama na jednakoj dubini. Kako je na svakoj točki površine tekućine u svakoj od cijevi atmosferski tlak, sve površine moraju biti na istoj visini.

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus izvodi se u sklopu sata o hidrostatskom tlaku. Pokus je osmišljen kao frontalno-opservacijski, preporučeno je ulijevati obojeni alkohol pred učenicima kako bi se sami uvjerali u rezultate pokusa. Važno je aparaturu složiti na svima vidljivo mjesto ili pozvati učenike bliže kako bi što bolje mogli sudjelovati u pokusu.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

1. Ulit ćemo obojeni alkohol u spojene cijevi različitih oblika, što očekujete gdje će biti najveća razina alkohola, a gdje najmanja?
2. Jesu li vas iznenadio rezultat pokusa?
3. Što očekujete da će se dogoditi ako cijelu konstrukciju nagnemo za neki kut?
4. Zašto su razine u svim cijevima jednake?
5. Koji tlak djeluje na alkohol u spojenim posudama?
6. O čemu ovisi hidrostatski tlak?
7. Možete li sada odgovoriti zašto su razine u cijevima različitih oblika jednake?

Pokus 7. Boca s tri rupice

Pribor: Plastična boca, voda, škare, bušilica pomoću koje se izbuše tri jednake rupice na boci

Opis: Pomoću škara ili bušilice izbušite sa iste strane tri jednake rupice na različitim visinama, u bocu ulijte do vrha vodu i promatrajte mlaz vode.



Slika 4.24. Ovisnost hidrostatskog tlaka o dubini



Slika 4.25. Ovisnost hidrostatskog tlaka o dubini

Opažanja: Mlazovi koji izlaze iz rupica nisu jednaki. Mlaz iz najniže rupice je najjači i pada najdalje, a mlaz iz najviše rupice je najslabiji i pada najbliže boci.

Objašnjenje pojave: Torricellijev zakon istjecanja kaže da je brzina istjecanja tekućine na dnu neke velike posude (s malim otvorom), jednaka kao da tekućina pada s površine posude do otvora.

$$v = \sqrt{2gh}$$

v...brzina istjecanja tekućine

h... visina od otvora do površine tekućine

Na većoj dubini u tekućini, veća je visina tekućine iznad točke promatranja, ako je veća visina tekućine, veća je brzina istjecanja tekućine, a ako je veća brzina tekućine, veći je domet jer su brzina i domet proporcionalni.

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus osmišljen je kao frontalno opservacijski pokus u kojem nastavnik izvodi pred cijelim razredom. Preporučeno je cijeli pokus pripremiti ranije i može se s ljepilom zalijepiti rupice kako voda ne bi prijevremeno štrcala van. Važno je pokus postaviti na dobru poziciju kako bi svi učenici uočili promjenu. Potrebno je pozvati sve učenike naprijed kako bi što bolje svi sudjelovali u pokusu. Na bocu se može postaviti i ljevak tako da nastavnik može dolijevati vodu kako bi učenici u više navrata mogli promotriti pokus. Cilj pokusa je pokazati kako tlak tekućine ovisi o dubini. Izvedba pokusa osmišljena je za uvodni sat o hidrostatskom tlaku.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

Na početku pokusa učenicima se objasni da boca ima 3 rupice koje se trenutno zatvorene pomoću lijepila.

1. Što očekujete da će se dogoditi kada ćemo otvoriti sve tri rupice na boci?
2. Skicirajte mlazove vode kroz sve tri rupice prije nego što izvedemo pokus?
3. Iz kojeg rupice istječe voda najbliže?
4. Poklapaju li se rezultati pokusa s vašom pretpostavkom?
5. Razmislite zašto iz najviše rupice voda istječe najbliže boci, a iz najniže najdalje?
6. Što bi se dogodilo da na bocu navrnemo čep? Kako to objasniti?

4.3 Dinamika fluida

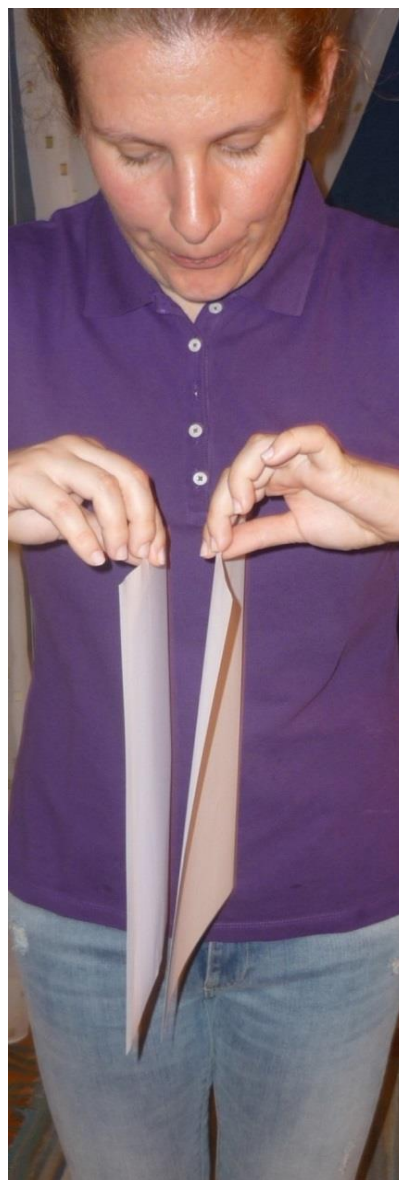
Pokus 8. Puhanje između listova papira

Pribor: dva lista papira 10cm · 20 cm

Opis: Na gornjem kraju prstima držite listove papira tako da stoje uspravno jedan uz drugi i puhnite između papira. Pokus se može izvesti i sa sušilom za kosu, sušilo za kosu upalite i usmjerite tako da upuhujete između dva lista papira.



Slika 4.26. Listovi papira između kojih nema strujanja zraka

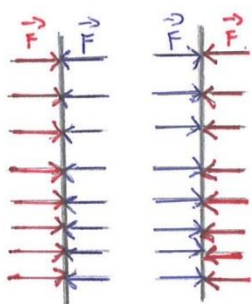


Slika 4.27. Strujanje zraka između papira dovodi do njihovog pomicanja

Opažanja: Puhanjem između listova papira, oni su se približili jedan prema drugome.

Objašnjenje pojave : Zrak oko papira miruje. Atmosferski tlak zraka je sila koja djeluje na svaki djelić površine papira ($p = \frac{F}{A}$). Kako je tlak na svaki dio površine približno isti, sile se ponište i papiri miruju uspravno. Strujanjem zraka između papira došlo je do njihovog približavanja. Strujanje zraka dovodi do pojave dinamičkog tlaka i smanjenje statičkog tlaka prema Bernoullijevoj jednadžbi ($p_1 + \rho \cdot g \cdot h_1 + \frac{1}{2} \rho v_1^2 = konst$) te se između papira stvori podtlak. S obzirom da je s vanjskih strana papira veći tlak, veća je i sila te je ukupna sila usmjerena tako da približava listove.

PAPIRI MIRUJU

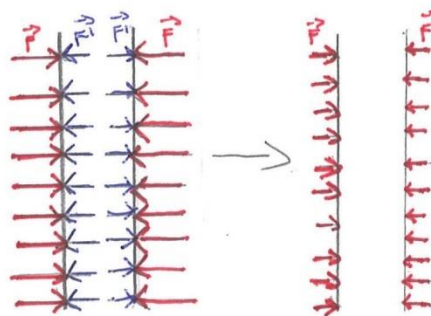


$$p_a = \frac{F}{A}$$

$$p_a = p_a$$

$$\Delta p = 0$$

LISTOV PAPIRA SU SE Približili KADA SE PUHNE IZMEĐU NJIH



$$p_a = \frac{F}{A}$$

$$p' = \frac{F'}{A}$$

$$\Delta F = F - F'$$

$$\Delta p \cdot A = p_a \cdot A - p' \cdot A \quad | : A$$

$$\boxed{\Delta p = p_a - p'}$$

Slika 4.28. Djelovanje sila na listove papira

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus je osmišljen kao grupni verifikacijski pokus koji izvode učenici. Pokus zbog jednostavnosti materijala potrebnih za izvedbu može se zadati i kao pokus za domaću zadaću, a na idućem satu bi se raspravljalo o rezultatima pokusa. Ovim pokusom učenicima se demonstrira Bernoullijeva jednadžba, postojanje tlaka zbog strujanja i nastajanje podtlaka. Prethodno potrebno znanja učenika je poznavanje tlaka, Bernoullijeve jednadžbe.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

Očekivani odgovori učenika se nalaze u zagradama poslije postavljenog pitanja.

1. Zašto papiri miruju? (jer ih mi držimo mirno)
2. Djeluje li zrak na listove papira?
3. Kako i u kojem smjeru djeluje zrak na papire? (silom u svim smjerovima)
Pretpostavljamo da bi učenici znali odgovoriti na ovo pitanje jer je jedna od prethodnih lekcija postojanje atmosferskog tlaka.
4. Što očekujete da će se dogoditi ako sa strane ili odozgo puhnemo u papire? (papiri će se odmaknuti jedan od drugoga)
5. Kako je moguće da su se listovi papira primaknuli umjesto odmaknuli? (mi smo približili ruke). Preporučeno je izvesti pokus više puta kako bi se učenici uvjerali da ruke držimo mirno, a da je puhanje između papira uzrok približavanja papira.
6. Ako smo rekli da zrak djeluje silom u svim smjerovima, što se dogodilo sa silom s unutarnje strane papira?
7. Usporedite tlakove s vanjske i unutarnje strane papira? (nisu jednaki ako se papiri približuju)
8. Zašto tlakovi nisu jednaki? Na ovom pitanju s učenicima bi trebalo ponoviti Bernoullijevu jednadžbu. (puhanjem smo povećali brzinu strujanja, povećali smo dinamički tlak, a ako smo povećali dinamički tlak, smanjilo se statički tlak)
9. Možemo li sad usporediti tlakove s unutarnje i vanjske strane papira? (tlak s unutarnje strane lista papira je manji od atmosferskog s vanjske strane papira)
10. Nacrtajte svatko u svoju bilježnicu dijagrame sila na listove papira? Svaki učenik zasebno crta dijagram sila na listove papira.
11. Ako su se papiri približili gdje je veća sila na papir? (s vanjske strane). Sada dijagram sila nacrtamo na ploču.

Pokus 9. Žlica na vodi

Pribor: žlica, mlaz vode iz slavine

Opis: U mlaz vode iz slavine položimo žlicu tako da konveksnom stranom dodiruje vodu.



Slika 4.29. Približavanje konveksne strane žlice vodi



Slika 4.30. Žlica se prilijepila uz mlaz vode

Opazanja: Približavanjem žlice s konveksne strane prema vodi osjetimo kako voda privlači žlicu k sebi.

Objašnjenje pojave: Ako uz mlaz vode iz slavine položimo žlicu s konveksne strane, intuitivno očekujemo da će mlaz vode odbiti žlicu, a dogodi se suprotno, žlica se uz njega "prilijepi". S konveksne strane žlice, brzina tekućine se povećava, a s time se povećava i dinamički tlak, a statički tlak se smanjuje prema Bernoullievoj jednadžbi. S konkavne strane žlice djeluje atmosferski tlak pa zbog razlike tih tlakova okomito na površinu žlice djeluje sila koja "prilijepi" žlicu za mlaz.

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus osmišljen je kao kućni pokus. Za pokus su potrebni materijali koje svaki učenik ima kod kuće. Zadatak učenicima je izvesti pokus kod kuće, promisliti i pokušati objasniti pojavu koju su uočili tijekom pokusa. Na idućem satu zajedno se obrađuje pokus i raspravlja u uočenoj pojavi i razlozima zašto se događa.

Radni listić za domaću zadaću:

Pribor: žlica, mlaz vode iz slavine

Opis pokusa: U mlaz vode iz slavine položimo žlicu tako da konveksnom stranom dodiruje vodu.

Opažanja:

Pitanje 1. Slažu li se tvoja očekivanja s rezultatima pokusa?

Pitanje 2. Usporedi tlakove s konveksne i konkavne strane prije izvedbe pokusa?

Pitanje 3. Skiciraj dijagram sila prije i tijekom pokusa na žlicu?

Pitanje 4. Usporedi tlak s konveksne strane prije i tijekom pokusa? (pomoć. Bernoullijeva jednadžba)

Pokus 10. Tornado u boci

Pribor: dvije plastične boce, ljepilo, voda

Opis: Ulijte vodu u jednu plastičnu bocu, otvor boce s vodom zalijepite pomoću ljepila za drugi otvor prazne plastične boce. Zavrtite boce.



Slika 4.31. Obojena voda u plastičnoj boci



Slika 4.32. Izvedba pokusa „Tornado u boci“



Slika 4.33. Izvedba pokusa „Tornado u boci“

Opažanja: Dvije boce treba dobro zalijepiti kako voda ne bi curila iz boce. Kada smo preokrenuli boce i zavrtili primijetili smo vrtlog u boci koji putuje prema dolje.

Objašnjenje pojave: Objašnjenje pojave za ovaj pokus nije nužno odraditi na satu jer poanta ovog pokusa učenicima pokazati primjer gibanja fluida koji podsjeća na tornado iz svakodnevnog života.

Kada smo zarotirali vodu u boci, primijetili smo vrtlog, tornado. Tornado uzrokuje fluidi koji putuju spiralno i on nastaje kada rotirajući tekućina pada kroz uski otvor. Sile koja djeluju na tekućinu je centripetalna sila (smjer prema središtu vrtnje). Formiranje vrtlogu olakšava zrak koji se nalazi u boci i omogućava da se voda što brže izlije.

Upotreba predstavljenog pokusa u nastavi fizike: Ovaj pokus dobro opisuje turbulentno ili vrtložno gibanje fluida. Izvedba pokusa osmišljena je za uvodni sat o hidrodinamici kada se

učenici upoznaju sa vrstama gibanja fluida. Vrsta pokusa je grupni opservacijski pokus koji izvode sami učenici, može se prozvati par učenika pred ploču kako bi izveli pokus.

Pitanja za motivaciju tijekom pokusa:

1. Probajte osmisliti kako bi mogli izvesti pokus sa 2 plastične spojene boce i vodom?
(vrtimo boce u krug, tresemo boce) Pustimo učenike da izvedu par prijedloga izvedbe pokusa.
2. Što mislite kako će voda strujati kroz bocu kada izvedemo pokus? Ovo pitanje slijedi prije izvedbe pokusa.
3. Na što vas podsjeća strujanje vode kroz boce kad ih zavrtimo?
4. Istražite doma kako nastaje tornado i ima li sličnosti s našim pokusom?

5. ZAKLJUČAK

Način izvedbe i sadržaj nastave fizike u Hrvatskoj zahtijeva temeljite promjene. Iako se puno govori o istraživačkoj i projektnoj nastavi, činjenica je da se u hrvatskim školama mali broj pokusa izvodi na nastavi fizike. Učenicima je fizika dosadna, teška, vrlo često ne razumljiva i ne zanimljiva. Nastavnicima je vrlo često opravdanje da im ne dostaje pribora u školi i da ima sama priprema pokusa uzima previše vremena. Učenici su naučeni na tradicionalan oblik nastave i nastavnicima je na početku vrlo teško priviknuti same učenike na istraživački način nastave, zaključivanje i razmišljanje na temelju pokusa. I ja sam bila učenica tradicionalnog oblika nastave i da ste me pitali prije 10 godina pitali o fizici i kemiji moj odgovor bi bio „Puno brojeva, zadataka, ništa zanimljivo“. Tijekom studiranja sam se zapravo prvi put susrela sa primjenom pokusa u nastavi i kako nastavnik može jedan sat fizike i kemije učiniti zanimljivim i poučnim.

Tokom izrade ovog diplomskog rada pokušala sam pomoći nastavnicima kako uz upotrebu jednostavnih materijala obraditi cjelinu „Mehanike fluida“. Ovim jednostavnim pokusima učenicima se približuju osnovna svojstva fluida. Vjerujem da kada učenici izvedu sami pokus ili barem vide kako nastavnik izvodi pokus puno više ostaje u sjećanju nego naučena definicija iz knjige. Učenicima se približuje i atmosferski tlak, jednostavnim pokusom sa slamkom i vodom učenici se uvjere da atmosferski tlak stvarno postoji. Obradena je nekolicina pokusa iz statike i dinamike fluida, izabrani su pokusi koji učenicima pokazuju ovisnost hidrostatskog tlaka o dubini, djelovanju tlaka u svim smjerovima i primjer primjene Bernoullijeve jednadžbe. Jedan dio pokusa je opservacijski (opažanje i upoznavanje nove pojave), a jedan dio su verifikacijski pokusi (primjena znanja pri rješavanju novih problema).

Nadam se da će budućnost nastave fizike i kemije biti ispunjena s pregršt pokusa pomoću kojih učenici razvijaju vlastitu kreativnost, razmišljanje, izražavanje i potrebu za budućim istraživanjima.

6. LITERATURA

1. Cutnell, J. D., Johnson, K.: *Physics – 8th edition*, John Wiley & Sons, Hoboken, 2009
2. Jurdana-Šepić, R., Milotić, B.: *Metodički pokusi iz fizike, Filozofski fakultet u Rijeci Odsjek za fiziku, Rijeka, 2002.*
3. Andreis, T., Plavčić, M., Simić, N.: *Fizika 1, udžbenik za prvi razred srednje škole, Profil International, Zagreb, 2004.*
4. Vernić., Mikulčić.,: *Vježbe iz fizike za srednje škole, priručnik za laboratorijski rad učenika srednji škola, Školska knjiga, Zagreb,*
5. *Columbia University in the city New York, [Internet], raspoloživo na:*
< <http://physics.columbia.edu/students/student-lecture-demonstrations/fluid-mechanics>>
6. *Boston University Physics, [Internet], raspoloživo na:*
<http://buphy.bu.edu/~duffy/fluids/2C50_30.html>
7. Holubova, R. 2008: *Effective teaching methods—Project-based learning in physics. US-China Education Review, 5 (12) 27-36.*
8. Kubiato, M., Vaculova, I. 2011: *Energy Education Science and Technology Part B: Social and Educational Studies Volume (issue) 3(1): 65-74.*